

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ И МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ НА УРОЖАЙНОСТЬ ЯРОВОЙ ТВЕРДОЙ ПШЕНИЦЫ В ОРЕНБУРГСКОМ ПРЕДУРАЛЬЕ

Оренбургская область является одним из ведущих регионов по производству яровой твердой пшеницы. Данная культура более требовательна к почвенно-климатическим условиям и агротехническим приемам возделывания и уступает по уровню урожайности яровой мягкой пшенице. Колебания погоды приводят к высокой variability урожайности по годам. В связи с этим ведется постоянный поиск агротехнических приемов возделывания, обеспечивающих повышение её продуктивности. Большое значение придаётся улучшению условий питания яровой твердой пшеницы путём применения минеральных удобрений. Проведенные ранее исследования проводились на базе краткосрочных опытов. Необходимо выявление эффективности влияния различных видов, доз и сочетаний элементов минерального питания на урожайность яровой твердой пшеницы в многолетнем стационарном опыте с учетом особенностей погодных условий данной территории.

За основу исследования были взяты многолетние (1974–2013 гг.) экспериментальные данные по урожайности яровой твердой пшеницы, полученные в стационарном опыте с различными видами и дозами минеральных удобрений на почвах чернозема обыкновенного центральной зоны области, и агрометеорологические данные за тот же период времени. Влияние погодных факторов на эффективность различных элементов минерального питания оценивалось по изменению уровня урожайности по отношению к среднемноголетнему в благоприятные и засушливые годы, и с помощью гидротермического коэффициента (ГТК) с целью оценки засушливости территории. Оценка связей урожайности с погодными факторами и элементами минерального питания проведена с использованием методов математического моделирования.

Получены математические регрессионные модели влияния погодных факторов и элементов минерального питания на урожайность яровой твердой пшеницы, выявлены их количественные значения, определяющие формирование высокой урожайности и эффективность внедряемых удобрений.

Ключевые слова: твердая пшеница, урожайность, погода, минеральные удобрения, регрессионная модель.

В степной зоне Оренбургской области яровая твердая пшеница является важной продовольственной, экономически ценной культурой, площади посева которой в 1966–1970 годах составляли 910 тыс. га [1]. Регион не только полностью удовлетворял свои потребности в этом незаменимом сырье для производства высококачественных макаронных и кондитерских изделий, крупы и продуктов детского питания, но и являлся поставщиком зерна и продуктов его переработки в другие субъекты Федерации, имеющие слабо развитое зерновое производство с низким качеством продукции.

Современное состояние производства твердой пшеницы в области характеризуется сокращением посевных площадей данной культуры, однако по производству данной культуры регион продолжает занимать лидирующее место в Уральском экономическом районе.

Одной из основных причин сокращения посевов твердой пшеницы в Оренбуржье является более высокая требовательность данной культуры к условиям выращивания и более низкий

уровень урожайности по сравнению с мягкой пшеницей. В связи с этим важное значение приобретает учет особенностей погодных условий данной территории и повышение эффективности внедряемых агротехнических мероприятий, в частности условий питания путем применения минеральных удобрений.

Проблема влияния минерального питания на формирование урожайности яровой твердой пшеницы находится в центре внимания Оренбургских ученых с 1937 года, разным аспектам его применения посвящены многие работы, однако все результаты исследований были получены в краткосрочных опытах [2]–[7].

Решить поставленную проблему возможно лишь с помощью длительных стационарных опытов, которые ведутся в центральной зоне области с 1972 года и по настоящее время, на основе точного расчета с применением математического моделирования и вычислительной техники. В области имеются работы по изучению влияния погодных условий на урожайность яровой твердой пшеницы с применением мето-

дов математического моделирования [8]–[14]. и нет работ по изучению совместного влияния погодных факторов и агротехнических приемов возделывания, в частности минерального питания, на урожайность яровой твердой пшеницы, поиску количественных связей между данными факторами.

Цель исследований заключалась в выявление наиболее оптимальных параметров погодных условий и фонов минеральных удобрений, способствующих формированию высокой урожайности яровой твердой пшеницы.

Материалы и методы исследования

Работа базировалась на многолетних (1974–2013 гг.) экспериментальных данных по урожайности, полученных в стационарном опыте, в пятипольном зернопаровом севообороте по схеме:

1. Без удобрений (контроль)
2. N40P40
3. N40K20
4. P40K20
5. N40P40K20
6. N80P80K40
7. N20P20K10
8. N80P40K20
9. N40P80K20
10. N80P260K140

Чередование культур в севообороте: пар, озимая рожь, яровая твердая пшеница, просо, яровая мягкая пшеница.

Почвы – обыкновенный среднесиловый, тяжелосуглинистый чернозем с содержанием 4,7–5,5% гумуса в слое 0–30 см, подвижного фосфора – 2,3–2,8 мг, обменного калия – 26,7–38,4 мг на 100 г почвы.

Повторность вариантов четырехкратная, общая площадь делянки – 450 м² (7,5×60 м), учетная – 300 м². Под вспашку вносились мочевины, двойной гранулированный суперфосфат и хлористый калий. Агротехника в опыте – общепринятая для центральной зоны области.

Наблюдения и исследования проводились по методике Б.А. Доспехова и другим методикам, принятым в агрохимии [15]. Для исследований были привлечены агрометеорологические данные Оренбургского областного центра по Гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды за тот же период времени.

Связь урожайности с погодными факторами и удобрениями осуществляли методом нелинейного корреляционного и множественного регрессионного анализов на ПЭВМ с помощью прикладных программ Excel и Statistika.

Результаты исследований

Формирование урожайности яровой твердой пшеницы в центральной зоне области в основном проходило в условиях засушливых – 28% лет (ГТК=0,71) и очень засушливых – 48% лет (ГТК=0,41 ед.) [16], [17].

Колебания погоды привели к высокой вариативности (V=44,3%) урожайности по годам, при среднемноголетнем её значении на контроле 12,90±5,65 ц/га, урожайность изменялась от 2,30 ц/га в крайне засушливом 2010 г. (ГТК = 0,16) до 27,40 ц/га в засушливом 1978 году (ГТК=0,73 ед., запас влаги к севу 150 мм). На удобренном фоне среднемноголетняя урожайность в различные по погодным условиям годы составила 15,20±7,07 ц/га, и превысила контроль на 2,30 ц/га.

За 33 года исследований среди изученных фонов минерального питания наибольшей урожайностью выделились следующие варианты: N40P40K20 (16,20 ц/га, прибавка 3,30 ц/га или 25,58%) и N80P40K20 (16,16 ц/га, прибавка 3,26 ц/га или 25,27%).

Следующая группа вариантов: N40P40 (15,58 ц/га); N80P80K40 (15,15 ц/га); N80P260K140 (15,07 ц/га) незначительно уступила указанным выше вариантам по уровню прибавки урожайности к контролю – 2,68; 2,25; 2,18; 2,17 ц/га или 20,78; 17,44; 16,90; 16,82% соответственно.

У третьей группы вариантов: N40P80K20 (14,92 ц/га); N20P20K10 (14,44 ц/га) и P40K20 (14,43 ц/га) прибавки урожайности к контролю были ещё ниже и составили соответственно 2,02; 1,54; 1,53 ц/га или 15,66; 10,66 и 10,60%.

В годы очень сильных засух (1975, 1981, 1988, 1995, 1998, 2010), на которые пришлось 18% лет, урожайность на контроле формировалась в пределах 2,3–5,4 ц/га при среднем значении 4,27 ц/га, а её снижение против среднемноголетней составило 58–82%. На удобренных фонах урожайность была несколько ниже контроля – 4,21 ц/га, т. е. эффективность удобрений в такие годы была минимальная и составила 2% общей дисперсии урожайности.

В годы сильных засух (1984, 1991, 2009, 2013) (12% лет), урожайность на контроле колебалась от 8,00 до 9,50 ц/га при среднем значении 8,90 ц/га, а её снижение против среднемноголетней составило 27–38%. На всех вариантах удобренных фонов урожайность была выше контроля – 10,51 ц/га, а прибавка к контролю составила 1,61 ц/га, т. е. удобрения ослабили действие засухи.

В годы очень сильных и сильных засух наблюдался повышенный температурный режим воздуха на протяжении всего периода вегетации (посев-полная спелость). Средние и максимальные температуры в среднем за весь период вегетации в такие годы превысили среднемноголетние ($19,31 \pm 1,46$ и $27,10 \pm 2,89^\circ\text{C}$) и составили соответственно $21,13 \pm 1,49$ и $29,44 \pm 1,83^\circ\text{C}$, в 2010 году они повышались до $23,92$ и $35,72^\circ\text{C}$. Осадков за период вегетации яровой твердой пшеницы (посев-полная спелость) в годы очень сильных и сильных засух выпало 38 мм и 82 мм соответственно, что составило 32 и 70% среднемноголетних (119 ± 63 мм).

Гидротермический коэффициент за период вегетации имел очень низкие значения (ГТК=0,20 и 0,56 ед. соответственно) и характеризовал годы как очень засушливые.

В годы с большей влагообеспеченностью вегетационного периода: 1978 (ГТК=0,95), 1986

(ГТК=0,82), 1994 (ГТК=1,30 ед.) получена высокая урожайность 27,40; 18,0 и 20,20 ц/га на контроле и соответственно на удобренном фоне: 30,27; 20,62 и 27,39 ц/га. Такие годы характеризовались пониженным температурным режимом за период вегетации: $17,06$; $17,13$ и $16,81^\circ\text{C}$ соответственно при среднемноголетней $19,31^\circ\text{C}$ и повышенным количеством осадков: 163; 144 и 244 мм при среднемноголетнем 119 мм.

В связи с этим, важно было оценить роль влагообеспеченности по ГТК в формировании урожайности, выявить их параметры и найти величины, оптимальные для формирования высокой урожайности твердой пшеницы. Поиск количественных связей урожайности с ГТК методом нелинейного корреляционно-регрессионного анализа позволил получить математические (регрессионные) модели «ГТК – урожайность» яровой твердой пшеницы по периодам вегетации и в целом за период вегетации. Урожайность брали на контроле, чтобы исключить влияние удобрений.

При рассмотрении связей урожайности с ГТК установлено существование сильных зависимостей между этими факторами ($\eta_{yx} = 0,87-0,97$), которые описываются уравнениями регрессии в 75–94% случаев.

Анализ полученных зависимостей (табл. 1) позволил выявить, что максимальная теорети-

Таблица 1. Зависимость урожайности яровой твердой пшеницы от гидротермического коэффициента (ГТК) периода вегетации в центральной зоне Оренбургской области (1974–2013 гг.)

№	Коррелируемые величины	Параметры величин (M ± G)	Коэфф. вариации, V, %	η_{yx}	F	
					факт.	теор.
Посев-колошение						
1	Гидротермический коэффициент (ГТК) (x_1)	$\frac{0,02-2,00}{0,71 \pm 0,42}$	60,22	-	-	-
2	урожайность, ц/га (y_1)	$\frac{3,56-19,66}{12,91 \pm 4,51}$	34,89	0,96	10,84	2,29
$Y_1 = 1,76 + 24,05 x_1 - 8,64 (x_1)^2 \pm 1,37$ ц/га, для 91,39% случаев						
Колошение-полная спелость						
3	Гидротермический коэффициент (ГТК) (x_2)	$\frac{0,04-1,66}{0,55 \pm 0,42}$	75,50	-	-	-
4	урожайность, ц/га (y_2)	$\frac{7,98-17,62}{13,05 \pm 3,32}$	25,43	0,87	3,79	2,29
$Y_2 = 7,22 + 17,69 x_2 - 8,32 (x_2)^2 \pm 1,70$ ц/га, для 75,37% случаев						
Посев – полная спелость						
5	Гидротермический коэффициент (ГТК) (x_3)	$\frac{0,08-1,34}{0,65 \pm 0,34}$	52,80	-	-	-
6	урожайность, ц/га (y_3)	$\frac{5,44-19,56}{13,00 \pm 4,21}$	32,40	0,97	15,73	2,29
$Y_3 = 2,27 + 24,68 x_3 - 9,90 (x_3)^2 \pm 1,06$ ц/га, для 94,07% случаев						

ческая урожайность (16,62–18,49 ц/га) формируется при ГТК первого периода вегетации (посев-колошение) –1,39, второго периода (колошение – полная спелость) –1,06 и в целом за период вегетации (посев-полная спелость) –1,34 ед.

Снижение ГТК в первый период вегетации до 0,02, во второй период вегетации – до 0,04, и в целом за период вегетации – до 0,08 ед. способствует формированию минимальной урожайности 2,24; 7,91; 4,18 ц/га соответственно. Для выявления совместного влияния на уро-

Таблица 2. Регрессионные модели совместного влияния погодных факторов и минеральных удобрений на урожайность яровой твердой пшеницы в период посев-колошение в центральной зоне Оренбургской области (1974–2013 гг.)

Независимая переменная	Коэффициент регрессии	Стандартная ошибка	T-значение	Уровень значимости	β - коэффициент
Посев-колошение					
свободный член	48,99	3,74	13,11	0,00	-
средняя температура воздуха, (x ₁)	-2,16	0,19	-11,32	0,00	-0,46
осадки, мм (x ₂)	0,07	0,01	10,72	0,00	0,44
контроль (без удобрения) (x ₃)	-2,19	0,83	-2,65	0,01	-0,09
$Y_1 = 48,99 - 2,16x_1 + 0,07x_2 - 2,19x_3$ (контроль) ± 4,37 ц/га					
свободный член	48,63	3,76	12,92	0,00	-
средняя температура воздуха, (x ₁)	-2,16	0,19	-11,25	0,00	-0,46
осадки, мм (x ₂)	0,07	0,01	10,65	0,00	0,44
N80P40K20 (x ₃)	1,40	0,83	2,70	0,02	0,06
$Y_2 = 48,63 - 2,16x_1 + 0,07x_2 + 1,40x_3$ (N80P40K20) ± 4,40 ц/га					
свободный член	48,66	3,77	12,91	0,00	-
средняя температура воздуха, (x ₁)	-2,16	0,19	-11,23	0,00	-0,46
осадки, мм (x ₂)	0,07	0,01	10,65	0,00	0,44
N40P40K20 (x ₃)	1,08	0,83	2,73	0,03	0,05
$Y_3 = 48,66 - 2,16x_1 + 0,07x_2 + 1,08x_3$ (N40P40K20) ± 4,41 ц/га					
свободный член	48,71	3,78	12,90	0,00	-
средняя температура воздуха, (x ₁)	-2,16	0,19	-11,21	0,00	-0,46
осадки, мм (x ₂)	0,07	0,01	10,61	0,00	0,44
N40P40 (x ₃)	0,63	0,84	2,68	0,04	0,03
$Y_4 = 48,71 - 2,16x_1 + 0,07x_2 + 0,63x_3$ (N40P40) ± 4,41 ц/га					
свободный член	48,84	3,78	12,93	0,00	-
средняя температура воздуха, (x ₁)	-2,16	0,19	-11,21	0,00	-0,46
осадки, мм (x ₂)	0,05	0,01	10,61	0,00	0,44
P40K20 (x ₃)	-0,62	0,84	2,80	0,04	-0,03
$Y_5 = 48,84 - 2,16x_1 + 0,05x_2 - 0,62x_3$ (P40K20) ± 4,41 ц/га					
свободный член	48,84	3,78	12,93	0,00	-
средняя температура воздуха, (x ₁)	-2,16	0,19	-11,21	0,00	-0,46
осадки, мм (x ₂)	0,07	0,01	10,61	0,00	0,44
N20P20K10 (x ₃)	-0,64	0,84	2,69	0,04	-0,03
$Y_6 = 48,84 - 2,16x_1 + 0,07x_2 - 0,64x_3$ (N20P20K10) ± 4,41 ц/га					
свободный член	48,78	3,78	12,90	0,00	-
средняя температура воздуха, (x ₁)	-2,16	0,19	-11,20	0,00	-0,46
осадки, мм (x ₂)	0,07	0,01	10,60	0,00	0,44
N40P80K20 (x ₃)	-0,03	0,84	2,66	0,04	-0,01
$Y_7 = 48,78 - 2,16x_1 + 0,07x_2 - 0,03x_3$ (N40P80K20) ± 4,42 ц/га					

жайность погодных факторов и удобрений был применен метод множественного регрессионного анализа.

Из уравнений множественной регрессии, описывающих совместное влияние на урожайность погодных факторов – средней температуры воздуха, осадков и различных доз, и соотношений минеральных удобрений в первый период вегетации (посев-колошение) видно, что при данном сочетании погодных факторов наибольший отрицательный вклад в дисперсию урожайности вносит средняя температура воздуха, коэффициент частной регрессии $\beta = 0,46$, осадки способствуют росту урожайности ($\beta=0,44$), менее тесная связь урожайности наблюдается с минеральными удобрениями, положительная связь ($\beta=0,01-0,06$) обнаружена в вариантах с азотом и фосфором (N40P40), с азотом и калием (N40K20), различными дозами полного минерального удобрения N40P40K20, N80P80K40, N80P40K20, N80P260K140. Из них наибольшее влияние на формирование урожайности оказывают минеральные удобрения N80P40K20, N40P40K20 и N40P40. С вероятностью 62% можно утверждать, что в первый период вегетации (посев-колошение) снижение средней температуры воздуха на 1°C и увеличение осадков на каждые 10 мм приводит к повышению урожайности на 2,16–0,70 ц/га соответственно, а каждый кг д.в. На 1 га данных удобрений совместно с осадками и средней температурой воздуха способны увеличить урожайность яровой твердой пшеницы на 1,40; 1,08; 0,63 ц/га соответственно.

Отрицательный знак у коэффициентов частной регрессии ($\beta = -0,09-(-0,01)$) свидетельствует о том, что удобрения без азота (P40K20), с половинной дозой элементов N20P20K10, двой-

ной дозой фосфора N40P80K20, а также контроль сдерживают рост урожайности на 0,63; 0,64; 0,03 и 2,19 ц/га соответственно, особенно это наблюдается в очень засушливые годы.

Таким образом, на эффективность минеральных удобрений оказывают влияние погодные условия периода вегетации яровой твердой пшеницы. Так, в годы очень сильных засух (ГТК= 0,21 ед.) эффективность удобрений минимальная, доля их в общей дисперсии урожайности составила всего лишь 2%, наибольшее влияние на урожайность в такие годы оказали погодные факторы –73% общей дисперсии. В годы сильных засух (ГТК=0,56 ед.) прибавка урожайности к контролю на удобренных фонах составила 1,61 ц/га, т. е. удобрения ослабили действие засухи.

В засушливые годы (ГТК=0,6–0,8 ед.) эффективность удобрений повысилась, доля их в общей дисперсии составила 10%. Наибольшее влияние на урожайность оказали удобрения в благоприятные по увлажнению годы (ГТК>1,0), прибавка к контролю на удобренном фоне составила в среднем 5,0 ц/га, доля удобрений в общей дисперсии превысила долю погодных факторов.

Согласно полученным регрессионным уравнениям, максимальная теоретическая урожайность (16,62-18,49 ц/га) формируется при ГТК первого периода вегетации (посев-колошение) -1,39, второго периода (колошение – полная спелость) -1,06 и в целом за период вегетации (посев-полная спелость) -1,34 ед.

Снижение ГТК в первый период вегетации до 0,02, во второй период вегетации – до 0,04, и в целом за период вегетации – до 0,08 ед. способствует формированию минимальной урожайности 2,24; 7,91; 4,18 ц/га соответственно.

30.09.2015

Список литературы:

- 1.Сандакова Г.Н., Крючков А.Г. Научное обоснование зон оптимального размещения производства и глубокой переработки высококачественного зерна яровой пшеницы в степи Южного Урала. Оренбург, 2012. 222 с.
- 2.Мушинская Р.С. о припосевном удобрении яровой пшеницы // Материалы и тезисы VII конференции по химизации сельского хозяйства Оренбургской области. Оренбург, 1966.
- 3.Андреева В.М. Урожай и качество зерна твердой яровой пшеницы в зависимости от минеральных удобрений //Труды Оренбургской обл. гос. с.-х. станции: сб. Челябинск: Южно-Уральское кн. изд-во, 1972. Вып. №3.
- 4.Ряховский А.В., Батулин И.А., Березнев А.П. Агрономическая химия в приложении к условиям степных районов Российской Федерации. Оренбург, 2004. С. 283.
5. Крючков А.Г., Тейхриб П.П., Попов А.Н. Твердая пшеница (Современные технологии возделывания). Оренбург: ООО «Оренбургское книжное издательство», 2008. 704 с.
- 6.Крючков А.Г., Елисеев В.И., Абдрашитов Р.Р. Удобрение яровой твердой пшеницы и её урожайность в Оренбургском Предуралье. М., Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук, 2012. №1. С. 53-57.

7. Крючков А.Г., Елисеев В.И., Абдрашитов Р.Р. Влияние минеральных удобрений, используемых при выращивании твердой пшеницы, на качество макаронных изделий из неё. М., Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук, 2014. №1. С. 36-38.
8. Сандакова Г.Н. Солнечная радиация и урожайность яровой пшеницы // Проблемы земледелия, растениеводства и животноводства в степном регионе (Юбилейный выпуск трудов к 60-летию института, 1937-1997). Оренбург, 1998. С. 196-208.
9. Сандакова Г.Н., Крючков А.Г. Запасы влаги к севу, осадки и урожайность яровой пшеницы // Наука и хлеб (Вопросы теории и практики): сб. науч. работ. Оренбург, 1999. Вып. 6. С.87-111.
10. Долгалев М. П., Тихонов В.Е. Адаптивная селекция яровой пшеницы в Оренбургском Приуралье. Оренбург, 2005. 290 с.
11. Долгалев М. П., Тихонов В.Е., Долгалев К.М. Зависимость урожайности сортов яровой твердой пшеницы от элементов структуры урожая. М.: Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук, 2005. С. 44-59.
12. Крючков А.Г. Основные принципы и методология агроэкологического районирования зерновых культур. М., Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук, 2006. 704 с.
13. Тихонов В.Е. Соотношение осадков и урожайности яровой пшеницы в Оренбургском Приуралье // Зерновое хозяйство. 2005. №5. С.2-4.
14. Тихонов В.Е., Долгалев К.М., Долгалев М. П. Параметры модели сорта яровой твердой пшеницы для условий степи Оренбургского Приуралья // Вестник Оренбургского государственного университета, 2005. №5. С.125-127.
15. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
16. Селянинов Г.Т. Агроклиматическая карта мира. Л.: Гидрометеоздат, 1966. 11 с.
17. Сандакова Г.Н., Елисеев В.И. Оценка агрометеорологических факторов с помощью методов математического моделирования для формирования урожая яровой твердой пшеницы в условиях степной зоны Оренбургской области // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН (электронный журнал), 2015. №4. С.1-11.

Сведения об авторах:

Сандакова Галина Николаевна, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник
Оренбургского научно-исследовательского института сельского хозяйства,
4600051, г. Оренбург, пр. Гагарина, 27/1, тел.: 71-04-88, e-mail: orniish@mail.ru

Елисеев Виктор Иванович, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник
Оренбургского научно-исследовательского института сельского хозяйства,
4600051, г. Оренбург, пр. Гагарина, 27/1, тел.: 71-04-88, e-mail: orniish@mail.ru

Статья публикуется за счет средств гранта Правительства Оренбургской области